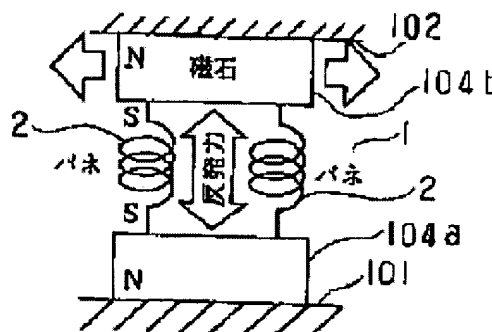


## REPULSION TYPE MAGNETIC DAMPER, REPULSION TYPE MAGNETIC ACTUATOR AND REPULSION TYPE MAGNETIC VIBRATION PROOF BASE

**Patent number:** JP8270725  
**Publication date:** 1996-10-15  
**Inventor:** KIKUSHIMA YOSHIHIRO; TANAKA NOBUO; KURODA MASAHARU  
**Applicant:** AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL  
**Classification:**  
- **international:** F16F15/03; G12B9/08  
- **european:**  
**Application number:** JP19950094514 19950328  
**Priority number(s):**

### Abstract of JP8270725

**PURPOSE:** To provide a repulsion type vibration control base and a magnetic damper in which unstable phenomenon in the lateral dislocation direction is stabilized and a repulsion type magnetic actuator in which more positive location controlling is possible.  
**CONSTITUTION:** A damper 1 is basically so constituted that the lateral dislocation direction is stabilized by holding a sprig 2 between repulsive permanent magnets 104a and 104b. A vibration control base is formed by using this damper 1 as free degree in the repulsion direction and free degree in the lateral dislocation direction are secured. Further, the damper 1 has function as a three axis actuator for changing flux density of the permanent magnet by actuating an electromagnet and the vibration damping base used this may be utilized as a three axis damper.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**Family list****1** family member for:**JP8270725**

Derived from 1 application.

[Back to JP8270725](#)**1 REPULSION TYPE MAGNETIC DAMPER, REPULSION TYPE MAGNETIC ACTUATOR AND REPULSION TYPE MAGNETIC VIBRATION PROOF BASE**Publication info: **JP8270725 A** - 1996-10-15

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-270725

(43) 公開日 平成8年(1996)10月15日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 1 6 F 15/03		8917-3 J	F 1 6 F 15/03	C
G 1 2 B 9/08		6947-2 F	G 1 2 B 9/08	B

審査請求 有 請求項の数 4 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-94514

(22) 出願日 平成7年(1995)3月28日

(71) 出願人 000001144

工業技術院長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(72) 発明者 菊島 義弘

茨城県つくば市並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

(72) 発明者 田中 信雄

茨城県つくば市並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

(72) 発明者 黒田 雅治

茨城県つくば市並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

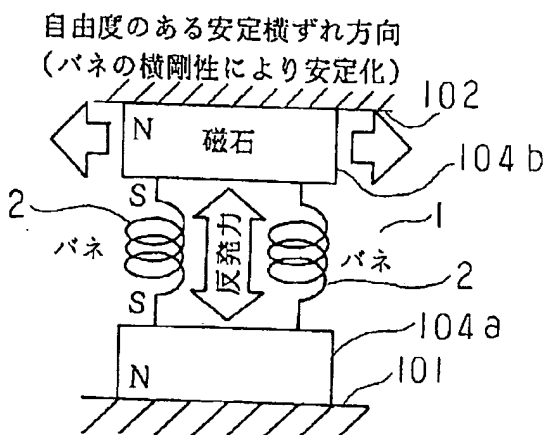
(74) 指定代理人 工業技術院機械技術研究所長

(54) 【発明の名称】 反発型磁気ダンパ、反発型磁気アクチュエータ及び反発型磁気防振台

(57) 【要約】

【目的】 横ずれ方向の不安定現象を安定化させた反発型防振台及び磁気ダンパ及びさらに積極的に位置制御可能な反発型磁気アクチュエータを得ること。

【構成】 ダンパ1の基本構成は、反発する永久磁石間104a、104bにばね2を挟み込むことで横ずれ方向を安定化している。このダンパを使用して反発方向の自由度及び横ずれ方向の自由度双方が確保できるため防振台を構成する。さらにダンパ1は電磁石を作用させることにより、永久磁石の磁束密度を変化させることができる3軸アクチュエータとしての機能を持ち、これを使用した防振台は3軸制振器として利用することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束したことを特徴とする反発型磁気ダンパ。

【請求項2】 反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束し、前記一対の永久磁石の磁界に作用する磁界を発生可能な電磁石を設けたことを特徴とする反発型磁気アクチュエータ。

【請求項3】 前記電磁石は前記永久磁石の周囲にコイルを巻いて形成したものであることを特徴とする請求項2記載の反発型磁気アクチュエータ。

【請求項4】 固定体とテーブルを反発型磁気アクチュエータで連結し、前記反発型磁気アクチュエータは反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束し、前記一対の永久磁石の磁界に作用する磁界を発生可能な電磁石を有するものであることを特徴とする反発型磁気防振台。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は精密機械などを防振効果を持たせて支持する反発型磁気ダンパ、アクチュエータ及び防振台に関するものである。

【0002】

【従来の技術】地震等の振動を遮断した状態で精密機械等を支持する場合に防振台を使用する。

【0003】防振台の基本的性能を総括すると、柔軟支持による高域周波数の遮断特性に依存している。そのため、柔軟支持系の固有周波数はできうる限り低い周波数として遮断周波数を広げてきた。すなわち、防振台には低い周波数が励振されても接触などがおこらないような十分なストロークが要求される。

【0004】従来用いられている防振台としては磁気浮上を用いた防振台、空気ばねを用いた防振台、コイルばねを用いた防振台等がある。

【0005】このうち特に磁気浮上を用いた防振台は接触部分がないので防振性能が良いところから、精密機械等などの支持系として注目されている。

【0006】磁気を利用した防振台は図12に示す固定体（固定側）101と可動テーブル102とを磁気ダンパ103で連結したものである。ここで使用する磁気ダンパ103は図12（a）に示す吸引型磁気ダンパ103aと図12（b）に示す反発型磁気ダンパ103bがある。吸引型磁気ダンパ103aは固定側磁石104aとテーブル側磁石104bを吸引させるものであり、また反発型磁気ダンパ103bは固定側磁石104aとテーブル側磁石104bを反発させるものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、磁気を利用した防振台の欠点としては、吸引型、反発型のどちらを用いようとしても系の初期状態が不安定な点である。吸引型は、吸引力が無い状態では防振台は自由落下するか磁

石同士が吸着してしまう。また、反発型は、アーンショウの定理で知られているように永久磁石の反発力が浮上方向には本質的に安定であるが、横ずれ方向が不安定なため永久磁石には逃げようとする力が働き、防振台はとどまてはいないという性質を持つ。そのため在来の方法としては、吸引型の場合、垂直方向を能動的に制御し、安定化しなければ防振台を浮上させることはできず、反発型も横ずれ方向を能動的に安定化するかガイド等により横ずれ方向を安定化しなければ、その機能を発揮することはできない。

【0008】しかしながら、在来の受動的に横ずれ方向を安定化した反発型磁気浮上系はガイドを用いているため、反発方向には自由度があるものの横ずれ方向には自由度が無く、能動制御を講じて安定化する方法も横ずれを拘束するように制御するため横ずれ方向のストロークが無く、横方向に大振動が発生すると制御器と接触したり、横ずれ方向の制御が不能となり、防振台の役割を果たせなくなる。すなわち、防振台は、床が縦、横どちらに動いてもテーブルは動かないことが条件であるため、自由度、ストロークがないことは防振台の致命欠陥となる。

【0009】また、バネを利用した防振台は、バネ力のみで防振台を浮上させるためバネ自体を太くする必要があり、そのため横剛性は増し、柔軟支持系の固有周波数はできうる限り低い周波数とする防振台の必要条件に相反する方向となる。

【0010】このようなことから横ずれ方向の不安定現象を安定化させた反発型防振台及び磁気ダンパ及びさらに積極的に位置制御可能な反発型磁気アクチュエータの開発が望まれる。

【0011】この発明は上記の如き事情に鑑みてなされたものであって、横ずれ方向の不安定現象を安定化させた反発型防振台及び磁気ダンパ及びさらに積極的に位置制御可能な反発型磁気アクチュエータを提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】この目的に対応して、この発明の反発型磁気ダンパは、反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束したことを特徴とし、またこの発明の反発型磁気アクチュエータは、反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束し、前記一対の永久磁石の磁界に作用する磁界を発生可能な電磁石を設けたことを特徴とし、またこの発明の反発型磁気防振台は、固定体とテーブルを反発型磁気アクチュエータで連結し、前記反発型磁気アクチュエータは反発する一対の永久磁石の相対位置をばねで拘束し、前記一対の永久磁石の磁界に作用する磁界を発生可能な電磁石を有するものであることを特徴としている。

【0013】

【作用】この発明の反発型磁気ダンパは、永久磁石の反

発力を利用し物体を浮上させる方法は在来と変わらないが、横ずれ方向の不安定現象をばねの横剛性を利用してパッシブな形式で安定化している点が特徴である。当該ダンパの基本構成は、反発する永久磁石間にばねを挟み込むことで横ずれ方向を安定化している。このとき使用するばねは、横ずれ方向の安定化に必要なばね定数があればよく、物を浮上させる力はばね力が付加されるが永久磁石の反発力が主である。この点から、反発方向の自由度及び横ずれ方向の自由度双方が確保できるため防振台としても利用価値があり、自由度があることが特徴でもある。

【0014】さらにアクチュエータは電磁石を作用させることにより、永久磁石の磁束密度を変化させることができる3軸アクチュエータとしての機能をもち、これを使用した防振台は3軸制振器として利用することができる。

【0015】

【実施例】以下、これらの発明の詳細を一実施例を示す図面について説明する。

【0016】図1において、1はダンパである。ダンパ1は固定体101と可動テーブル102との間に設けられる。ダンパ1はそれぞれ永久磁石で構成され、その間に反発力が作用するように、固定側磁石104aとテーブル側磁石104bとを対向させて配置する。また固定側磁石104aとテーブル側磁石104bとをばね2で拘束する。したがって固定側磁石104aとテーブル側磁石104bには3軸方向にばね2による3軸方向の復元力が作用している。

【0017】したがって、このダンパ1は、永久磁石の反発力を利用し物体を浮上させる方法は在来と変わらないが、横ずれ方向の不安定現象をばね2の横剛性を利用してパッシブな形式で安定化している点が特徴である。

【0018】次にアクチュエータについて説明する。

【0019】アクチュエータ3は図2に示すようにダンパ1に1軸～3軸の少なくとも1軸方向に磁力を作用させる電磁石4～6を付加することによって構成する。電磁石4は図の垂直方向(Z軸方向)に磁力を作用させるためのもので固定側磁石104aの周囲にコイル7を巻いて構成したものであり、電磁石5は図の水平方向(X軸方向)に磁力を作用させるためのもので鉄心8にコイル9を巻いて構成したものである。電磁石6は図の水平方向(Y軸方向)に磁力を作用させるためのもので構成は電磁石5と同じである。このような構成のアクチュエータにおいては、永久磁石である固定側磁石104aとテーブル側磁石104bとの間には反発する磁束がN極からS極へと流れている。それら磁束をエナメル線等でコイルを磁石側面に巻いたり、鉄心を持つ電磁石コイルからなる電磁石4～6を永久磁石の近傍におき、コイルに電流を流すことで磁束密度を可変できる。すなわち、図2に示すような支持系自体が3軸アクチュエータとし

ての能力を持っていることとなり、このアクチュエータ3は、3軸制振器として利用することができ、さらには3軸加振器としても利用できる。

【0020】当該アクチュエータを加振器として用いた場合の動特性の一例を図4に示す。この図は、横軸にコイルに流す電流、縦軸に当該アクチュエータが発生する上下方向の力を示したものであり、電流を増やし永久磁石間の磁束を増大することで反発する力が増えていることが分かる。

【0021】さらに、図5には一定の交流電流をコイルに与えた場合の周波数応答を示している。周波数応答では、電流に比例した力が各周波数において発生していることが分かり、広い周波数で安定した力が発生できるアクチュエータとしての能力があることが分かる。

【0022】つぎに、水平方向の加振力について述べる。基本的には、垂直方向と同じであるが、鉄心の回りに270巻した電磁石を永久磁石間に置き横方向の加振力を調べた。図6に横軸にコイルに流す電流、縦軸に当該アクチュエータが発生する水平方向の力を示しており、電流を増し電磁石5の磁束を増大させることで反発する力が増えていることが分かる。鉄心の断面積が少ない分だけ発生できる力は減少しているがこの程度の巻線数でも十分な水平方向の加振力が得られる。

【0023】さらに、図7には一定の交流電流をコイル9に与えた場合の周波数応答を示している。周波数応答では、電力に比例した力が各周波数において発生していることが分り、広い周波数で安定した力が発生できるアクチュエータとしての能力があることが分る。

【0024】このようなダンパ1またはアクチュエータ3は固定体101と可動テーブル102との間に配置することによって図3に示す防振台10を構成することができる。防振台10は固定体101と可動テーブル102とをアクチュエータ3またはダンパ1で連結したものである。

【0025】つぎに、在来の磁気浮上を用いた防振台、空気ばね、コイルバネを用いた防振台とこの発明の防振台10との比較について述べる。まず、コイルバネを用いた防振台との比較を行う。この発明のアクチュエータ3を用いた防振台10は、磁気浮上を用いて防振台を浮上させているが、磁気浮上とはいっても磁気という目に見えないばねと同じ特質を持つ部材で支えられた支持系と等価である。ただし、磁気は質量を持たないためばねと比較するとサージングというばね自体の共振がない。この発明の防振台も、系の安定化のためにばねを使用しているが、浮上させる力は磁気浮上のため通常のばねよりも質量を極端に軽減できる。すなわち、サージングが起こる周波数を数十倍、数百倍高くすることが可能となり、さらに、サージングによる悪影響は、質量に比例するため発生する変位は無視できる程度となる。また、防振台を能動的に制御しようとする支持系以外

にアクチュエータを必要とし、アクチュエータの取り付け位置も支持系そのものの中に組み込むことは物理的な制約により不可能であり、支持系と離れた位置に取り付けなければならない。このことは、支持系を通して擾乱が流入することを考えると擾乱を抑制する場所が支持系ではなく防振台内となる。防振台に流入した擾乱エネルギーについて考えると、防振台は平面であり、エネルギーは散逸してしまうことから、全てのエネルギーを効率的に除去することは不可能となり、除去を可能とするためには当該システムのように支持系内での抑制が必要となる。さらに、3軸を制御するためには3ヶ所（垂直Z軸及び平行XY軸に力が作用する点）にアクチュエータを取り付けなければならない。しかしながら、この発明の防振台は、1台の支持系で3軸方向が制御できるため防振台そのものが簡素にできる。

【0026】つぎに、空気ばねを用いた防振台と比較する。現在、防振台として一番利用されている方法であるが、空気ばねの弱点は、システムの複雑さと動特性の悪さにある。空気をばね力として用い、制御を講じるためには、空圧用サーボ弁が必要になる。空圧用サーボ弁は、圧縮空気を強めたり弱めたりしてシリンダ内をコントロールする。そのため、コンプレッサ、空圧配管、サーボ弁、空圧シリンダ等を防振台の付属品としなければならない。システムは、非常に複雑となる。また、空気ばね防振台もコイルばね防振台と同じく3軸制御するためには3ヶ所にアクチュエータを必要とする。さらに悪い点は、空圧サーボシステムの動特性である。空圧サーボ弁の周波数応答は、数十Hz程度しかなく、高い周波数の抑制はできない。その点、この発明の防振台は、電磁力の動特性がそのまま利用できることから非常に高い周波数まで応答する。

【0027】最後に、磁気浮上型防振台との比較を行う。磁気浮上型防振台には、吸引型の防振台と反発型の防振台があるが、どちらのシステムも初期状態が不安定である。そのため、システムを安定化するための制御系と防振を行うための制御系を用意しなければならない。さらに、2つの制御系があると言うことは制御系の連成問題が起き、磁気浮上型のようにフィードバックを基調とする制御系では浮上安定化させた制御系を防振用制御系が壊し発振させるなどの問題が起こる。また、吸引型は吸引方向にストロークをとろうとすると大電流を流さなければ防振台は浮上していないと同時にシステムは非線形となり在来の制御法は使用できなくなる。また、反発型も横ずれ方向のストロークをとろうとすると大電流を必要としてストロークをとることが難しい。

【0028】このように、この発明の防振台は、1台の支持系が3軸の制御要素を持っており、制御時のシステムの簡素化が可能である。さらに、力が作用する点について考えると当該防振台は、支持系内に力が作用するため、擾乱の流入経路でコントロールできるのに対し、在

来法では、支持系を通り過ぎ防振台で制御を行うこととなり、制御効果の観点からすると当該法が制御効果はよい。また、空圧サーボ弁のように制御可能な周波数帯域が狭くなく、幅広い周波数帯域の制御が可能である。さらに、ばねによるサージングもその周波数は高くすることが可能で、レベルも小さくできる。

【0029】（実験例）図8の実験装置と駆動電流を流すアンプを用いて垂直方向の除振性能に関する実験を試みた結果の一例を図9に示す。実験では、この発明の防振台10上に加速度計を設置し、その信号を積分した変位、速度と加速度計出力の加速度をフィードバックしている。図からも明らかにように防振台への振動伝達率は簡単な制御系を組むだけで全ての周波数で1倍以下となり、防振台として十分な性能を有している。

【0030】図8に示す防振台の仕様は、ダンパ支持能力を3kgと設定（4軸で12kg）し、コイルばねの線形を0.8mm（4本使用）、駆動コイル巻線数を240巻としている。また、希土類磁石には、直径3cmのネオジウム磁石を用いた。さらに、アクチュエータには、60cm×45cm×7cmのアルミハニカムテーブルが結合され、テーブル上に加速度計を設置してシステムが構築されている。そのシステムは、図8からも明らかにように極めてシンプルな制御系となっている。

【0031】つぎに、防振台の性能について述べる。防振台の主な目的は、下からの擾乱の抑制である。その下からの擾乱として最大級の振動は地震であり、地震が発生してもステージ上は動かない防振台が望まれている。その地震の振動の大きさは、震度で規定され、震度1は0.8～2.5gal、震度2は2.5～8.0gal、震度3は8.0～25gal、震度4は25～80galである。galという単位は、重力加速度Gの1/1000であり、1Gをこの発明の防振台の場合にあてはめるとダンパがささえる重量に等しく、ダンパ支持能力が3kgの場合は、1galの加速度を制御するための力は3gとなる。すなわち、震度3程度の地震を抑制しようとする75gの力発生能力を有するアクチュエータがあればよいこととなり、この発明のアクチュエータ（巻線数240巻）で十分な仕様となる。また、制御力を増大しようとすれば駆動コイルの巻線数の増大、駆動電流の増大で対応できる。

【0032】当該防振台の動特性の一例を図10に示す。横軸にコイルに流す電流、縦軸に当該防振台のアクチュエータが発生する上下方向の力を示したものであり、電流を増やし永久磁石間の磁束を増大することで反発する力が増えていることが分かる。

【0033】さらに、図11には一定の交流電流をコイルに与えた場合の周波数応答を示している。周波数応答では、電流に比例した力が各周波数において発生していることが分かり、広い周波数で安定した力が発生できる防振台としての能力があることが分かる。

【0034】

【発明の効果】以上の説明から明らかな通り、この発明によれば、永久磁石の反発力を利用し物体を浮上させる方法は在来と変わらないが、横ずれ方向の不安定現象をばねの横剛性を利用してパッシブな形式で安定化しているダンパ、アクチュエータ及び防振台を得ることができる。このとき使用するばねは、横ずれ方向の安定化に必要なばね定数があればよく、物を浮上させる力はばね力が付加されるが永久磁石の反発力が主である。こうして、この発明のダンパ、アクチュエータ及び防振台では、反発方向の自由度及び横ずれ方向の自由度双方が確保できるため防振台としても利用価値があり、自由度があることが特徴である。

【図面の簡単な説明】

【図1】ダンパの構成説明図。

【図2】アクチュエータの構成説明図。

【図3】防振台の構成説明図。

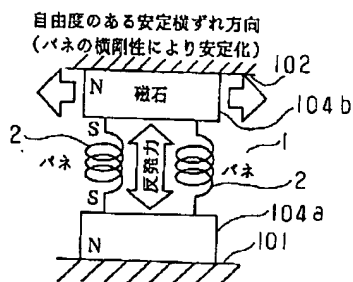
【図4】アクチュエータの駆動電流と垂直方向加振力の関係を示すグラフ。

【図5】アクチュエータの周波数と垂直方向加振力の関係を示すグラフ。

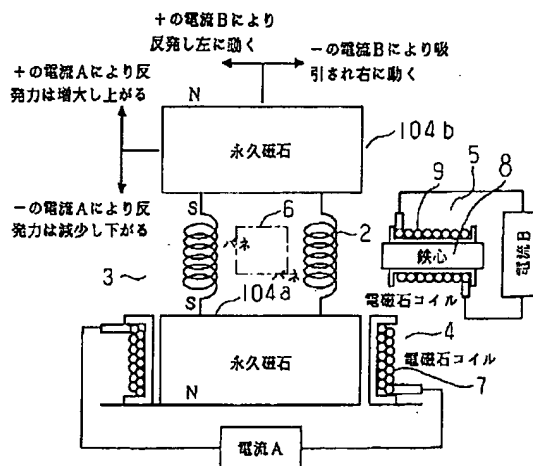
【図6】アクチュエータの駆動電流と水平方向加振力の関係を示すグラフ。

【図7】アクチュエータの周波数と水平方向加振力の関係を示すグラフ。

【図1】



【図2】



【図8】実験に供した防振台の構成説明図。

【図9】周波数と振動伝達率の関係を示すグラフ。

【図10】アクチュエータにおける駆動電流と垂直方向加振力との関係を示すグラフ。

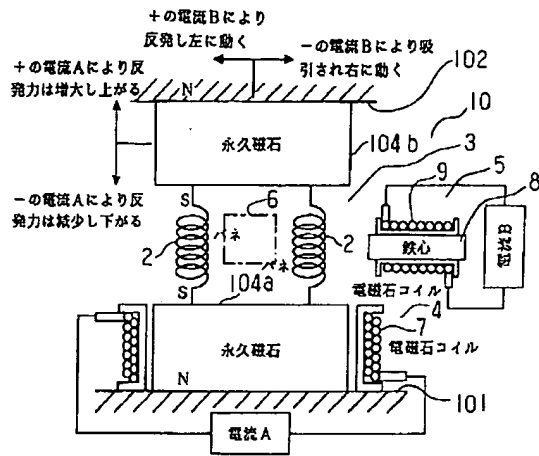
【図11】アクチュエータにおける周波数と垂直方向加振力との関係を示すグラフ。

【図12】従来のダンパ構成説明図。

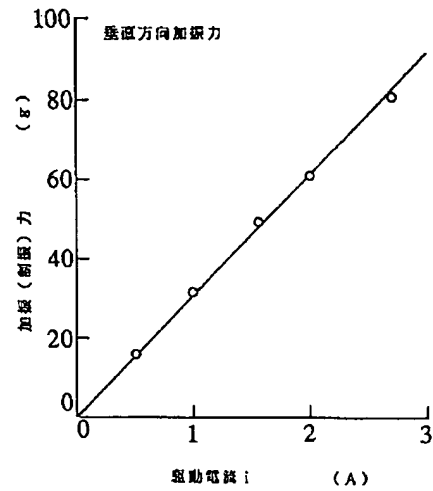
【符号の説明】

- 1 ダンパ
- 2 ばね
- 3 アクチュエータ
- 4 電磁石
- 5 電磁石
- 6 電磁石
- 7 コイル
- 8 鉄心
- 9 コイル
- 10 防振台
- 101 固定体
- 102 可動テーブル
- 103 磁気ダンパ
- 103a 吸引型磁気ダンパ
- 103b 反発型磁気ダンパ
- 104a 固定側磁石
- 104b テーブル側磁石

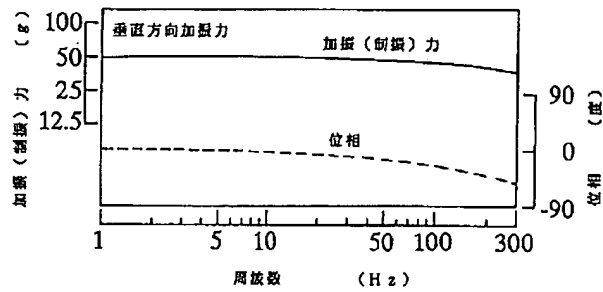
【図3】



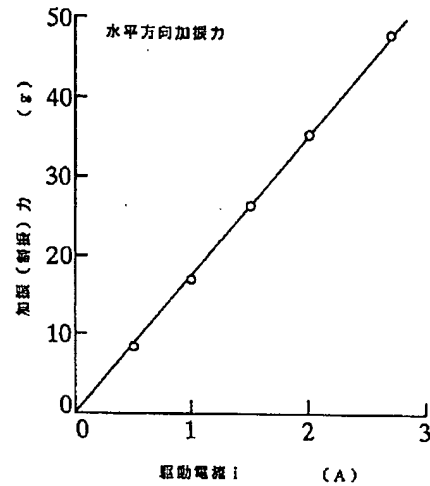
【図4】



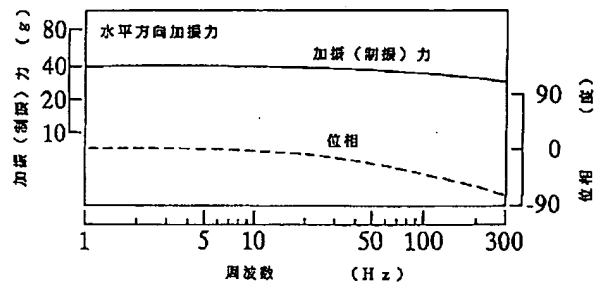
【図5】



【図6】

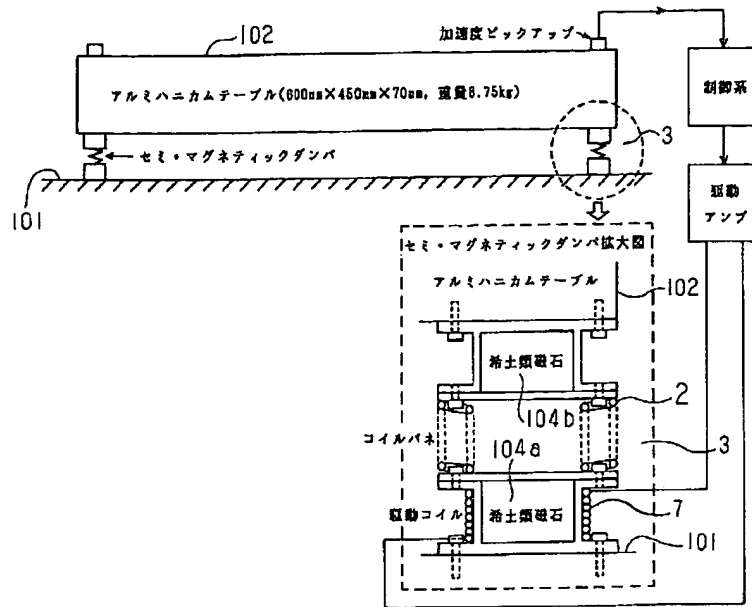


【図7】

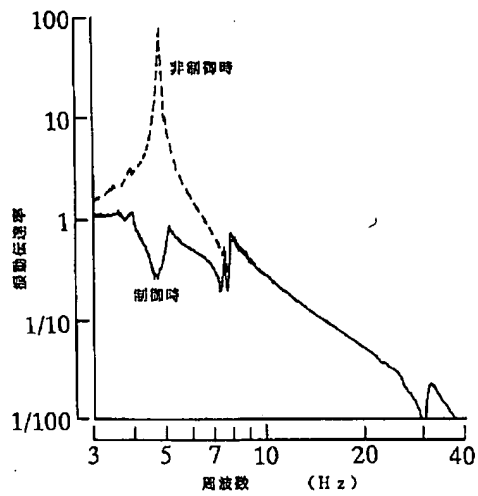




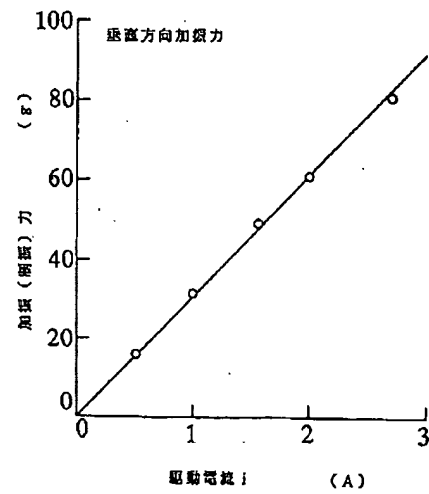
【図8】



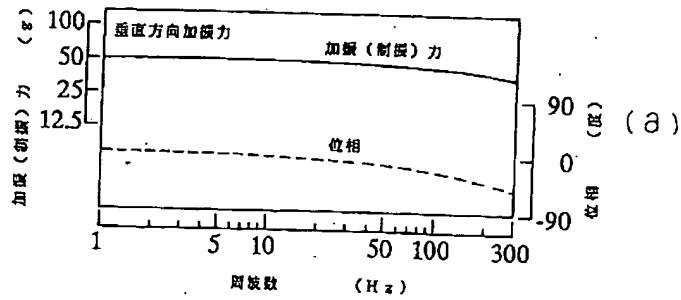
【図9】



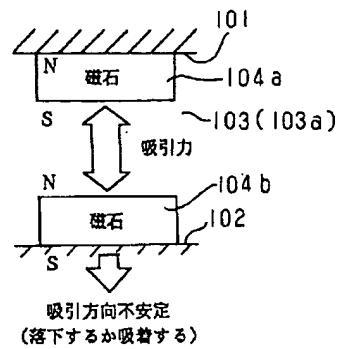
【図10】



【図11】



【図12】



(b)

